

## Beschreibung

### Verfahren zum Herstellen eines vertikal emittierenden Lasers

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines vertikal emittierenden Lasers, insbesondere eines VCSEL-Lasers (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser = vertikal emittierender Halbleiterlaser). VCSEL-Laser

10

emittieren Licht senkrecht zur Oberfläche, so dass derartige Laser für „Low-cost“-Anwendungen prädestiniert sind. Aufgrund ihrer Geometrieform tendieren VCSEL-Laser jedoch dazu, ihr Licht transversal mehrmodig zu emittieren. Eine Mehrmodigkeit führt jedoch zu einem Modenrauschen, das störend ist, wenn

15 eine hochbitratige Datenübertragung erfolgen soll. Außerdem führt eine transversale Mehrmodigkeit zu erhöhten Koppelverlusten.

### Stand der Technik:

20

In der Druckschrift „Transverse Mode Selection in Large-Area Oxide-Confined Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers Using a Shallow Surface Relief“ (H. Martinsson, J. A. Vukusic, M. Grabherr, M. Michalzik, R. Jäger, K. J. Ebeling, A. Larsson; IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, No. 12, December

25

1999, Seiten 1536-1538) ist ein Verfahren zum Herstellen eines VCSEL-Lasers beschrieben, bei dem auf der Oberfläche des VCSEL-Lasers ein sogenanntes „Halbleiterrelief“ hergestellt wird. Die Funktion des Halbleiterreliefs besteht darin, höhere Moden des in der aktiven Zone des Lasers

30

erzeugten Lichts zu unterdrücken und nur den Grundmode des Lichts möglichst unbeeinflusst zu lassen. Im Kern beruht die Funktionsweise des Halbleiterreliefs darauf, dass höhere Moden eine Feldverteilung aufweisen, bei der das Licht hauptsächlich am Rand der Strahlungskeule des Lichts geführt wird. Im Unterschied dazu weist der Grundmode ein

35

Abstrahlverhalten auf, bei dem das Licht hauptsächlich im Innenbereich der Strahlungskeule des Lichts befindlich ist.

Durch das Halbleiterrelief werden also bevorzugt höhere Moden unterdrückt, so dass in optische Komponenten, die dem VCSEL-Laser nachgeordnet sind, hauptsächlich bzw. ausschließlich der Grundmode des VCSEL-Lasers eingekoppelt wird.

5

Bei dem VCSEL-Laser gemäß der bereits genannten Druckschrift „Transverse Mode Selection in Large-Area Oxide-Confined Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers Using a Shallow Surface Relief“ ist das Halbleiterrelief auf der Oberseite

10 des VCSEL-Lasers angeordnet, also oberhalb des oberen Spiegels bzw. Spiegelpakets des VCSEL-Lasers. Das Halbleiterrelief ist somit von einer Stromapertur des VCSEL-Lasers durch die obere Spiegelschicht des Lasers getrennt. Die Stromapertur weist bei dem in der Druckschrift gezeigten  
15 VCSEL-Laser eine Flächengröße mit einem Durchmesser von 15,5  $\mu\text{m}$  auf. Unter der Flächengröße des Halbleiterreliefs wird dabei die Flächengröße des inneren erhabenen Bereiches des Halbleiterreliefs verstanden. Die unterhalb der oberen Spiegelschicht des VCSEL-Lasers angeordnete Stromapertur  
20 weist eine Flächengröße (bzw. einen Durchmesser) auf, die größer als die Flächengröße (bzw. der Durchmesser) des Halbleiterreliefs ist. Konkret beträgt der Durchmesser der Stromapertur 20  $\mu\text{m}$ .

25 Aus der Druckschrift „Increased-area oxidised single-fundamental mode VCSEL with self-aligned shallow etched surface relief“ (H. J. Unold, M. Grabherr, F. Eberhard, F. Mederer, R. Jäger, M. Riedl, K. J. Ebeling; Electronics Letters, 5th August 1999, Vol. 35, No. 16,) ist darüber  
30 hinaus ein Verfahren zum Herstellen eines Lasers bekannt, bei dem das Halbleiterrelief und die Stromapertur selbstjustierend hergestellt werden. Dies bedeutet, dass die Stromapertur relativ zum Halbleiterrelief konzentrisch justiert angeordnet wird. Die Selbstjustage wird dadurch  
35 erreicht, dass in demselben Maskenschritt sowohl die Lage (Position) des Halbleiterreliefs als auch die Lage (Position) einer Mesa-Struktur des VCSEL-Lasers definiert wird. In

nachfolgenden Ätzschritten wird die Mesa-Struktur hergestellt, wobei das Halbleiterrelief zwangsläufig mittig in der Mesa-Struktur angeordnet bleibt. Die Flächengröße der Stromapertur wird im Rahmen eines Oxidationschrittes  
 5 definiert, bei dem die Seitenflanken der geätzten Mesa-Struktur oxidiert werden. Bei diesem Oxidationsschritt wird seitlich in die in der Mesa-Struktur enthaltene Stromaperturschicht „hineinoxidiert“. Das Halbleiterrelief ist von der Stromapertur durch eine obere Spiegelschicht  
 10 getrennt.

Aufgabe der Erfindung:

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem sich VCSEL-Laser mit noch besseren  
 15 optischen Eigenschaften als bisher herstellen lassen.

Zusammenfassung der Erfindung:

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte  
 20 Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Unteransprüchen angegeben.

Danach ist erfindungsgemäß ein Laser-Herstellungsverfahren vorgesehen, bei dem eine Stromapertur und ein  
 25 Halbleiterrelief hergestellt werden; die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur werden in demselben Herstellungsschritt definiert.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass stets sichergestellt ist, dass die  
 30 Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur in einer festen Beziehung zueinander stehen, da sowohl das Halbleiterrelief als auch die Stromapertur in demselben Herstellungsschritt definiert werden. Kommt es  
 35 beispielsweise zu Herstellungstoleranzen aufgrund von Schwankungen der Herstellungsbedingungen (z. B. Herstellungstemperatur, Feuchtigkeitsschwankungen), so wird sich unter

Umständen die Flächengröße des Halbleiterreliefs ändern; da aber das Halbleiterrelief und die Stromapertur in demselben Herstellungsschritt definiert werden, wird gleichzeitig auch die Flächengröße der Stromapertur von den Schwankungen der  
5 Herstellungsbedingungen betroffen sein, so dass sich auch deren Größe ändert. Im Ergebnis werden sich die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur somit relativ „ähnlich“ verändern, so dass sie dennoch ein Größenverhältnis zueinander aufweisen werden, dass dem  
10 eigentlich gewünschten Größenverhältnis ohne Herstellungstoleranzen entspricht. Die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur halten ein vorgegebenes Größenverhältnis somit „selbstskalierend“ ein; eine „Selbstskalierung“ tritt bei dem  
15 eingangs beschriebenen vorbekannten Verfahren nicht ein, weil die Definition des Halbleiterreliefs und die Definition der Stromapertur in separaten Herstellungsschritten erfolgt.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des gemeinsamen  
20 Herstellungsprozesses des Halbleiterreliefs und der Stromapertur besteht darin, dass die Ausbeute bei der Herstellung der Laser vergrößert wird: In der Regel passt nämlich zu jedem Stromapertur-Durchmesser nur ein bestimmter Halbleiterrelief-Durchmesser, um eine einmodige Strahlung mit  
25 maximaler optischer Ausgangsleistung am Ausgang des Lasers zu erhalten. Durch die feste Skalierung des Halbleiterreliefs und der Stromapertur wird die Produktionsausbeute und die Prozessstabilität erheblich vergrößert.

30 Die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur können beispielsweise in einem Oxidationsschritt definiert werden; diese Vorgehensweise ist insbesondere deshalb vorteilhaft, da Stromaperturen üblicherweise in einem Oxidationsschritt hergestellt werden.  
35 Bei dieser Ausgestaltung des Verfahrens wird somit die Größe des Halbleiterreliefs während der Oxidation der Stromapertur definiert.

Bei der Herstellung des VCSEL-Lasers werden vorzugsweise eine oxidierbare Hilfsschicht zur Definition der Flächengröße des Halbleiterreliefs und eine oxidierbare Stromaperturschicht zur Definition der Stromapertur dem gemeinsamen Oxidationsschritt unterworfen. Das Verhältnis zwischen der Oxidationsrate der oxidierbaren Hilfsschicht und der Oxidationsrate der Stromaperturschicht legt dabei das Größenverhältnis zwischen der Flächengröße des resultierenden Halbleiterreliefs und der Flächengröße der resultierenden Stromapertur fest. Bei der oxidierbaren Hilfsschicht sowie bei der Stromaperturschicht kann es sich beispielsweise um Schichten aus AlGaAs-Material handeln, wobei der Anteil des Aluminiums die Oxidationsrate bestimmt: Je höher der Aluminium-Anteil ist, desto größer ist die Oxidationsrate.

Bei der Herstellung des VCSEL-Lasers wird vorzugsweise eine Mesa-Struktur hergestellt, die die oxidierbare Hilfsschicht sowie die Stromaperturschicht umfasst bzw. einschließt. Anschließend werden die Seitenflanken der Mesa-Struktur oxidiert, wodurch auch in die oxidierbare Hilfsschicht und in die Stromaperturschicht innerhalb der Mesa-Struktur „hinein“-oxidiert wird. Dabei wird das Größenverhältnis zwischen der Flächengröße des Halbleiterreliefs und der Flächengröße der Stromapertur festgelegt.

Zur Herstellung des VCSEL-Lasers kann beispielsweise auf der oxidierbaren Stromaperturschicht des VCSEL-Lasers zunächst zumindest eine Halbleiter-Zwischenschicht angeordnet werden. Auf der Halbleiter-Zwischenschicht wird nachfolgend die oxidierbare Hilfsschicht angeordnet. Auf die oxidierbare Hilfsschicht wird eine Deckschicht aufgebracht, beispielsweise epitaktisch aufgewachsen. In das resultierende Schichtpaket wird anschließend die Mesa-Struktur geätzt, und die Seitenflanken der Mesa-Struktur werden dem Oxidationsschritt unterworfen. Bei diesem Oxidationsschritt werden die oxidierbare Stromaperturschicht und die

oxidierbare Hilfsschicht gleichzeitig seitlich oxidiert.

Besonders einfach und damit vorteilhaft wird der VCSEL-Laser fertiggestellt, indem die oxidierbare Hilfsschicht

5 anschließend in ihren oxidierten Bereichen entfernt wird, wobei ein Bereich der Halbleiter-Zwischenschicht freigelegt wird. Die Halbleiter-Zwischenschicht wird anschließend im freigelegten Bereich bis zu einer Tiefe geätzt, die der Tiefe des herzustellenden Halbleiterreliefs entspricht. Außerdem  
10 werden die Deckschicht und die nicht-oxidierten Bereiche der oxidierbaren Hilfsschicht vollständig entfernt, wodurch das Halbleiterrelief in der Halbleiter-Zwischenschicht freigelegt wird. Damit ist dann die Bildung des Halbleiterreliefs abgeschlossen.

15

Auf dem Halbleiterrelief wird nachfolgend vorzugsweise eine Spiegelschicht oder ein aus mehreren Spiegelschichten bestehendes Spiegelschichtpaket abgeschieden, das die obere Spiegelschicht des Lasers bildet. Das Halbleiterrelief ist  
20 damit zwischen der Spiegelschicht des VCSEL-Lasers und der Stromapertur des VCSEL-Lasers angeordnet.

Vorzugsweise wird die Flächengröße des Halbleiterreliefs - im Unterschied zu den eingangs erwähnten vorbekannten Verfahren  
25 - größer als die Flächengröße der Stromapertur ausgebildet, um ein optimales Strahlungsverhalten zu erreichen.

Bei der oberen Spiegelschicht (oder den oberen Spiegelschichten), die auf dem Halbleiterrelief abgeschieden  
30 wird, kann es sich beispielsweise um Schichtpakete oder Schichtpaare aus dielektrischen Materialien, vorzugsweise aus Aluminiumoxid und Titanoxid, handeln.

35

Darüber hinaus wird es als vorteilhaft angesehen, wenn ein oberer elektrischer Kontakt des VCSEL-Lasers relativ zur Stromapertur und relativ zum Halbleiterrelief selbstjustiert angeordnet wird, wodurch eine homogene Strominjektion erreicht

wird.

Bei dem oberen elektrischen Kontakt handelt es sich bevorzugt um einen Intra-Cavity-Kontakt, also um einen Kontakt, der  
5 eine Halbleiterschicht des VCSEL-Lasers kontaktiert, die unterhalb der oberen Spiegelschicht des VCSEL-Lasers angeordnet ist.

Der Intra-Cavity-Kontakt kann beispielsweise auf der oben  
10 bereits erwähnten Halbleiter-Zwischenschicht gebildet werden.

Die Erfindung bezieht sich darüber hinaus auf einen vertikal emittierenden Laser, insbesondere einen VCSEL-Laser, mit einem möglichst optimalen Strahlungsverhalten.

15 Erfindungsgemäß ist ein Laser, insbesondere ein VCSEL-Laser, mit einem Halbleiterrelief zum Abstrahlen unerwünschter Moden vorgesehen, bei dem das Halbleiterrelief zwischen einer oberen Spiegelschicht des Lasers und einer Stromapertur des  
20 Lasers angeordnet ist.

Störende höhere Moden des Lasers lassen sich besonders einfach und damit vorteilhaft unterdrücken, wenn die Flächengröße des Halbleiterreliefs größer als die  
25 Flächengröße der Stromapertur gewählt ist. Ein Vorteil des derart gewählten Flächenverhältnisses zwischen dem Halbleiterrelief und der Stromapertur besteht darin, dass vermieden wird, dass Ladungsträger unter dem Halbleiterrelief unvollständig ausgeräumt werden und - bedingt durch einen  
30 langsamen Diffusionsprozess - das Modulationsverhalten des Lasers verschlechtern.

Die Spiegelschicht des VCSEL-Lasers besteht vorzugsweise aus Schichtpaketen oder Schichtpaaren aus dielektrischen  
35 Materialien, vorzugsweise aus Aluminiumoxid und Titanoxid.

Wie bereits eingangs erwähnt, kann der VCSEL-Laser als oberen

elektrischen Kontakt einen Intra-Cavity-Kontakt aufweisen; alternativ oder zusätzlich kann auch der zweite bzw. „untere“ elektrische Kontakt des Lasers ein Intra-Cavity-Kontakt sein.

5 Zur Erläuterung der Erfindung zeigen

Figuren 1-8 ein erstes Ausführungsbeispiel für das  
erfindungsgemäße Verfahren und einen  
erfindungsgemäßen Laser anhand schematischer  
10 Darstellungen,

Figuren 9-16 ein zweites Ausführungsbeispiel für das  
erfindungsgemäße Verfahren und einen  
erfindungsgemäßen Laser anhand von  
15 schematischen Darstellungen und

Figuren 17-23 ein drittes Ausführungsbeispiel für das  
erfindungsgemäße Verfahren und einen  
erfindungsgemäßen Laser.  
20

In den Figuren 1 bis 23 werden für identische oder  
vergleichbare Komponenten dieselben Bezugszeichen verwendet.

Im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 8 wird zunächst ein  
25 erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert. In der  
Figur 1 erkennt man ein Halbleiterschichtpaket 10, das aus  
einem unteren, mehrere untere Spiegelschichten aufweisenden  
Spiegelschichtpaket 20, einer unteren schwach dotierten  
Laserschicht 30, einer aktiven (photonenerzeugenden)  
30 Laserschicht (Laserzone) 40, einer schwach dotierten oberen  
Laserschicht 50, einer Stromaperturschicht 60, einer  
Halbleiter-Zwischenschicht 70, einer oxidierbaren  
Hilfsschicht 75 und einer Deckschicht 80 besteht. Das  
Halbleiterschichtpaket 10 ist auf einem Substrat 85  
35 angeordnet.

Auf der Deckschicht 80 des Halbleiterschichtpakets 10 ist

eine Maskenschicht 100 aufgetragen, die strukturiert ist und nachfolgend eine Mesa-Struktur definieren wird. Die Maskenschicht 100 kann durch eine Hartmaske oder eine Fotolackmaske gebildet sein; vorzugsweise handelt es sich um  
5 eine Hartmaske beispielsweise aus einem Oxid oder aus einem Nitrid.

Das in der Figur 1 dargestellte Halbleiterschichtpaket 10 wird einem Ätzschritt unterworfen, so dass die in der Figur 2  
10 dargestellte Mesa-Struktur 110 gebildet wird. Man erkennt, dass die Maskenschicht 100 geringfügig unterätzt wird.

Anschließend werden die Seitenflanken 115 der Mesa-Struktur 110 einem Oxidationsschritt unterworfen. Dabei oxidieren  
15 besonders die Stromaperturschicht 60 sowie die oxidierbare Hilfsschicht 75, da diese beiden Schichten besonders oxidationsfreudig sind. Handelt es sich bei dem Halbleiterschichtpaket 10 um ein III/V-Halbleitersystem auf der Basis von GaAs, so weisen  
20 die oxidierbare Hilfsschicht 75 und die Stromaperturschicht 60 beispielsweise einen entsprechend hohen Aluminiumgehalt auf, da der Aluminiumanteil in Gallium-Arsenid-Schichten die Oxidationsrate maßgeblich bestimmt.

25 In der Figur 2 sind durch eine Schraffur der oxidierte Bereich der oxidierbaren Hilfsschicht 75 sowie der oxidierte Bereich der Stromaperturschicht 60 angedeutet. Man erkennt, dass in die oxidierbare Hilfsschicht 75 sowie in den oxidierten Bereich der Stromaperturschicht 60 deutlich  
30 „tiefer“ hineinoxidiert wird, als in die übrigen Schichten 50, 70 und 80 der Mesa-Struktur 110.

In der Stromaperturschicht 60 bildet sich durch die Oxidation eine Stromapertur 60' des Lasers; in der oxidierbaren  
35 Hilfsschicht 75 wird durch die Oxidation - wie nachfolgend deutlich werden wird - die Lage eines Halbleiterreliefs des Lasers definiert. Es findet somit bezüglich der Position der

Stromapertur 60' und der Position des Halbleiterreliefs eine automatische „Selbstskalierung“ statt, da die Stromapertur 60' und das Halbleiterrelief während desselben Herstellungsschrittes definiert werden.

5

In einem nachfolgenden Schritt wird auf die oxidierte Mesa-Struktur 110 sowie auf die (erste) Maskenschicht 100 eine weitere (zweite) Maskenschicht 120 - vorzugsweise eine Fotolackmaske - aufgetragen und strukturiert. Die

10 resultierende Struktur ist in der Figur 3 gezeigt.

Anschließend wird die resultierende Struktur einem Ätzschritt unterzogen, bei dem sowohl die erste Maskenschicht 100 als auch die Deckschicht 80 durchtrennt werden. Der Ätzschritt

15 wird auf der oxidierbaren Hilfsschicht 75 beendet.

Vorzugsweise wird der Ätzschritt als „selektiver“ Ätzschritt durchgeführt, so dass die Ätzung der Deckschicht 80 automatisch beendet wird.

20 Nachfolgend wird der oxidierte, also der in der Figur 3 schraffierte Bereich der oxidierbaren Hilfsschicht 75 selektiv entfernt. Es bildet sich die in der Figur 4 dargestellte Struktur, bei der die Halbleiter-Zwischenschicht 70 an denjenigen Stellen freigelegt ist, an denen zuvor die

25 oxidierbare Hilfsschicht 75 oxidiert worden war.

Anschließend wird in die Halbleiter-Zwischenschicht 70 hinein geätzt, so dass sich in der Halbleiter-Zwischenschicht 70 ein erhabener Bereich, nachfolgend Halbleiterrelief 130 genannt,

30 bildet. Die resultierende Struktur zeigt die Figur 5.

Der Ätzschritt in die Halbleiter-Zwischenschicht 70 kann beispielsweise nasschemisch durchgeführt werden. Um einen automatischen Ätzstopp in der Halbleiter-Zwischenschicht 70

35 zu erreichen, kann in dieser beispielsweise eine hochdotierte Kontaktschicht integriert sein, auf der der Ätzschritt automatisch stoppt. Die hochdotierte Kontaktschicht ist mit

gestrichelten Linien in der Figur 5 angedeutet und mit dem Bezugszeichen 150 versehen.

Die Ätztiefe beim Ätzen der Halbleiter-Zwischenschicht 70 ist  
5 derart gewählt, dass ein Halbleiterrelief entsteht, bei dem höhere Moden des zu bildenden VCSEL-Lasers ausreichend unterdrückt werden.

Anschließend wird unter Verwendung der zweiten Maskenschicht  
10 120 eine Metallkontaktschicht 155 auf der Mesa-Struktur 110 abgeschieden, beispielsweise aufgedampft. Die resultierende Struktur ist in der Figur 6 gezeigt.

Nachfolgend werden die weitere Maskenschicht 120 sowie der  
15 nicht-oxidierte Bereich der oxidierbaren Hilfsschicht 75 selektiv entfernt, wodurch die auf der Hilfsschicht 75 verbliebene Deckschicht 80 sowie die auf der weiteren Maskenschicht 120 vorhandene Metallisierung abgehoben werden. Es bildet sich die in der Figur 7 dargestellte  
20 Halbleiterstruktur mit einem Halbleiterrelief 130 in der Halbleiter-Zwischenschicht 70.

Auf der Halbleiter-Zwischenschicht 70 wird durch die zurückbleibende Metallkontaktschicht 155 ein ringförmiger  
25 Metallkontakt 160 ausgebildet.

Auf die Mesa-Struktur gemäß Figur 7 wird nachfolgend eine Spiegelschicht bzw. ein Spiegelschichtpaket 200 aufgetragen. Dies kann im Rahmen eines „Lift-Off“-Verfahrens oder im  
30 Rahmen eines Strukturierungsverfahrens erfolgen. Den resultierenden VCSEL-Laser zeigt die Figur 8.

Da der ringförmige Metallkontakt 160 eine Halbleiterschicht unterhalb der Spiegelschicht bzw. des Spiegelschichtpakets  
35 200 kontaktiert und sich somit im „Cavity-Bereich“ des Lasers befindet, bildet der ringförmige Metallkontakt 160 einen sogenannten „Intra-Cavity-Kontakt“.

Der für den VCSEL-Laser nötige zweite elektrische Kontakt kann - sofern das untere Spiegelschichtpaket 20 leitfähig ist - beispielsweise auf der Rückseite des Substrats 85

5 angeordnet werden; alternativ kann der zweite elektrische Kontakt als legierender „Intra-Cavity-Kontakt“ auf der unteren schwach dotierten Laserschicht 30 angebracht werden.

Wie sich den obigen Ausführungen entnehmen lässt, wird die  
10 Flächengröße bzw. der Durchmesser  $D_s$  der Stromapertur 60' in der Stromaperturschicht 60 sowie die Flächengröße bzw. der Durchmesser  $D_h$  des Halbleiterreliefs 130 in der Halbleiter-Zwischenschicht 70 durch den Oxidationsschritt bestimmt, dem die Seitenflanken 115 der Mesa-Struktur 110 gemäß der Figur 2  
15 unterworfen werden. Kommt es nun zu Herstellungsschwankungen bzw. Herstellungstoleranzen während des Oxidationsschritts, so wird die Flächengröße bzw. der Durchmesser  $D_s$  der Stromapertur sowie die Flächengröße bzw. der Durchmesser  $D_h$  des Halbleiterreliefs 130 schwanken. Da jedoch die  
20 Stromapertur 60' sowie das Halbleiterrelief 130 während desselben Oxidationsschritts hergestellt werden, wird sich ein nahezu fest vorgegebenes Verhältnis zwischen der Flächengröße der Stromapertur und der Flächengröße des Halbleiterreliefs 130 bilden. Das Verhältnis  $D_s/D_h$  wird somit  
25 selbst bei Herstellungsschwankungen weitgehend konstant bleiben. Es tritt also ein Effekt der „Selbstskalierung“ auf.

Zusätzlich ergibt sich auch eine „Selbstjustage“ zwischen der Stromapertur 60' und dem Halbleiterrelief 130, da die Lage  
30 der Stromapertur 60' und die Lage des Halbleiterreliefs 130 durch denselben Maskenschritt definiert werden.

In den Figuren 9 bis 16 ist ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt. Man erkennt das Halbleiterschichtpaket  
35 10, das auf dem Substrat 85 angeordnet ist.

Auf das Halbleiterschichtpaket 10 wird eine erste Maske 300 -

vorzugsweise eine Hartmaske - aufgebracht, deren äußerer Rand 310 die Mesa-Struktur des VCSEL-Lasers definieren wird (vgl. Figur 9). Im Innenbereich der Maske 300 ist eine ringförmige Aussparung vorhanden, die mit dem Bezugszeichen 320

5 gekennzeichnet ist und die nachfolgend den ringförmigen Metallkontakt 160 gemäß der Figur 7 definieren wird.

In einem zweiten Maskierungsschritt wird mit einer zweiten Maske 330 - vorzugsweise einer Fotolackmaske - die

10 ringförmige Aussparung 320 abgedeckt, so dass die in der Figur 10 dargestellte Struktur entsteht.

Anschließend wird in das Halbleiterschichtpaket 10 eine Mesa-Struktur 110 geätzt. Der Durchmesser der Mesa-Struktur 110

15 wird durch den äußeren Rand 310 der ersten Maske 300 festgelegt.

Im Anschluss daran werden die Seitenflanken 115 der Mesa-Struktur 110 oxidiert. Es bildet sich die in der Figur 11

20 gezeigte Struktur, die bis auf die Ausgestaltung der oberen Masken 300 und 330 der Struktur gemäß der Figur 2 entspricht.

Nachfolgend wird die zweite Maske 330 entfernt, so dass sich die Struktur gemäß der Figur 12 bildet.

25 Die Figur 13 zeigt das resultierende Schichtpaket, nachdem eine dritte Maske 340 - vorzugsweise eine Fotolackmaske - aufgetragen wurde. Die dritte Maske dient dazu, die Seitenflanken 115 der Mesa-Struktur 110 abzudecken bzw. zu

30 schützen.

Anschließend wird die resultierende Struktur einem Ätzschritt unterzogen, bei dem die Deckschicht 80 durchtrennt wird. Der Ätzschritt wird auf der oxidierbaren Hilfsschicht 75 beendet.

35 Nachfolgend wird der oxidierte, also der in der Figur 13 schraffierte Bereich der oxidierbaren Hilfsschicht 75 selektiv entfernt. Es bildet sich die in der Figur 14

dargestellte Struktur, bei der die Halbleiter-Zwischenschicht 70 an denjenigen Stellen freigelegt ist, an denen zuvor die oxidierbare Hilfsschicht 75 oxidiert worden war.

- 5    Anschließend wird in die Halbleiter-Zwischenschicht 70 hinein geätzt, so dass sich in der Halbleiter-Zwischenschicht 70 das Halbleiterrelief 130 bildet. Die resultierende Struktur zeigt die Figur 15.
- 10   Der Ätzschritt in die Halbleiter-Zwischenschicht 70 kann beispielsweise nasschemisch durchgeführt werden. Um einen automatischen Ätzstopp in der Halbleiter-Zwischenschicht 70 zu erreichen, kann in dieser beispielsweise eine hochdotierte Kontaktschicht 150 integriert sein, auf der der Ätzschritt
- 15   automatisch stoppt. Anschließend wird unter Verwendung der dritten Maske 340 eine Metallkontaktschicht 155 auf der Mesa-Struktur 110 abgeschieden, beispielsweise aufgedampft. Die resultierende Struktur ist in der Figur 16 gezeigt.
- 20   Nachfolgend werden die erste und die dritte Maske 300 und 340 sowie der nicht-oxidierte Bereich der oxidierbaren Hilfsschicht 75 selektiv entfernt, wodurch die auf der Hilfsschicht 75 verbliebene Deckschicht 80 sowie die auf der dritten Maske 340 vorhandene Metallisierung abgehoben werden.
- 25   Es bildet sich die bereits in der Figur 7 dargestellte Halbleiterstruktur mit einem Halbleiterrelief 130 in der Halbleiter-Zwischenschicht 70. Auf der hochdotierten Kontaktschicht 150 der Halbleiter-Zwischenschicht 70 wird durch die zurückbleibende Metallisierung 155 ein ringförmiger
- 30   Metallkontakt 160 ausgebildet.

Auf die Mesa-Struktur gemäß Figur 7 wird nachfolgend eine Spiegelschicht bzw. ein Spiegelschichtpaket 200 aufgetragen, wie dies im Zusammenhang mit der Figur 8 bereits erläutert

35   wurde. Damit ist der VCSEL-Laser fertiggestellt.

Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung kommt es -

ebenso wie beim ersten Ausführungsbeispiel - zur Selbstjustage und Selbstskalierung zwischen der Stromapertur 60' und dem Halbleiterrelief 130, da die Lage und die Größe der Stromapertur 60' und die Lage und die Größe des Halbleiterreliefs 130 durch denselben Maskenschritt und denselben Oxidationsschritt definiert werden. Außerdem ist - im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung - zusätzlich die Lage des ringförmigen Metallkontakts 160 relativ zur Stromapertur 60' und zum Halbleiterrelief 130 selbstjustiert, da die Lage des ringförmigen Metallkontakts 160 durch die erste Maske 300 bestimmt wird, die gleichzeitig auch die Lage der Mesa-Struktur festlegt. Es werden also drei Komponenten, nämlich der Metallkontakt 160, die Stromapertur 60' und das Halbleiterrelief 130 selbstjustiert.

Im Zusammenhang mit den Figuren 17 bis 23 wird nachfolgend ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert.

Zunächst wird auf ein Halbleiterschichtpaket 450 beispielsweise mittels eines Lift-off-Verfahrens ein ringförmiger Metallkontakt 160 aufgedampft. Das Halbleiterschichtpaket 450 entspricht - bis auf die fehlende oxidierbare Hilfsschicht 75 und die fehlende Deckschicht 80 - dem Halbleiterschichtpaket 10 gemäß der Figur 1 (vgl. Figur 17).

Anschließend wird eine erste Maske 500 - vorzugsweise eine Hartmaske beispielsweise aus Oxid oder aus Nitrid - aufgebracht. Die erste Maske 500 weist eine ringförmige Aussparung 505 auf, deren Innenbereich ein Halbleiterrelief 130 definieren wird (vgl. Figur 18).

Nachfolgend wird ein Ätzschritt durchgeführt, mit dem das Halbleiterrelief 130 unter dem mittleren Bereich der Maske 500 gebildet wird (vgl. Figur 19).

Eine zweite Maske 510 - vorzugsweise eine Fotolackmaske - wird anschließend derart aufgebracht, dass die ringförmige Aussparung 505 der ersten Maske 500 abgedeckt wird. Mit einem Ätzschritt wird dann die Mesa-Struktur 110 des Lasers  
5 hergestellt (vgl. Figur 20).

Im Anschluss daran wird die zweite Maske 510 entfernt und die Mesa-Struktur oxidiert. Damit ist das Halbleiterrelief 130 selbstjustiert zur Stromblende 60' fertiggestellt (vgl. Figur  
10 21).

Im weiteren Prozessverlauf wird auch die erste Maske 500 entfernt, so dass die in der Figur 22 gezeigte Struktur entsteht.  
15

Nachfolgend wird auf dem Halbleiterrelief 130 ein oberes Spiegelschichtpaket 200 entweder ganzflächig aufgetragen und strukturiert oder mit einem Lift-off-Verfahren hergestellt. Damit ist der VCSEL-Laser fertiggestellt.  
20

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel kommt es zu der bereits im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel erläuterten Selbstjustage zwischen der Stromapertur 60' und dem Halbleiterrelief 130, da sowohl die Lage der Mesa-  
25 Struktur 110 und damit die Lage der Stromapertur 60' als auch die Lage des Halbleiterreliefs 130 durch dieselbe Maske definiert werden. Eine Selbstjustage bezüglich des ringförmigen Metallkontakts 160 tritt hingegen nicht auf.

Bei den obigen drei Ausführungsbeispielen der Erfindung ist das Halbleiterrelief 130 beispielhaft zwischen dem oberen Spiegelschichtpaket 200 und der Stromapertur 60' angeordnet. Das Flächenverhältnis  $D_s/D_h$  ist beispielhaft kleiner als 1; dies bedeutet, dass die Flächengröße ( $D_h$ ) des  
35 Halbleiterreliefs größer als die Flächengröße ( $D_s$ ) der Stromapertur gewählt ist.

Bezugszeichen

	10	Halbleiterschichtpaket
	20	unteres Spiegelschichtpaket
5	30	untere schwach dotierte Laserschicht
	40	aktive Laserschicht
	50	obere schwach dotierte Laserschicht
	60	Stromaperturschicht
	60'	Stromapertur
10	70	Halbleiter-Zwischenschicht
	75	oxidierbare Hilfsschicht
	80	Deckschicht
	85	Substrat
	100	Maskenschicht
15	110	Mesa-Struktur
	115	Seitenflanken
	120	zweite Maskenschicht
	130	Halbleiterrelief
	150	hochdotierte Kontaktschicht
20	155	Metallkontaktschicht
	160	ringförmiger Metallkontakt
	200	Spiegelschichtpaket
	300	erste Maske
	310	äußerer Rand 310
25	320	ringförmige Aussparung
	330	zweite Maske
	340	dritte Maske
	450	Halbleiterschichtpaket
	500	erste Maske
30	505	ringförmige Aussparung
	510	zweite Maske

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines vertikal emittierenden Lasers, bei dem eine Stromapertur und ein Halbleiterrelief  
5 hergestellt werden, wobei die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur in demselben Herstellungsschritt definiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
10 dass der Herstellungsschritt derart durchgeführt wird, dass die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur ein vorgegebenes Größenverhältnis selbstskalierend einhalten.

15 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur in einem Oxidationsschritt definiert werden.

20 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine oxidierbare Hilfsschicht zur Definition der Flächengröße des Halbleiterreliefs und eine oxidierbare Stromaperturschicht dem Oxidationsschritt unterworfen  
25 werden,

- wobei das Verhältnis zwischen der Oxidationsrate der oxidierbaren Hilfsschicht und der Oxidationsrate der Stromaperturschicht das vorgegebene Größenverhältnis festlegt.

30

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine die oxidierbare Hilfsschicht und die Stromaperturschicht umfassende Mesa-Struktur hergestellt wird und dass die Seitenflanken der Mesa-Struktur dem  
35 Oxidationsschritt unterworfen werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass

- auf die oxidierbare Stromaperturschicht des Lasers  
zumindest eine Halbleiter-Zwischenschicht angeordnet wird,
- 5 - auf der Halbleiter-Zwischenschicht die oxidierbare  
Hilfsschicht angeordnet wird,
- auf die oxidierbare Hilfsschicht eine Deckschicht  
angeordnet wird,
- in das resultierende Schichtpaket die Mesa-Struktur geätzt  
10 wird und
- die Seitenflanken der Mesa-Struktur dem Oxidationsschritt  
unterworfen werden, wobei bei dem Oxidationsschritt die  
oxidierbare Stromaperturschicht und in die oxidierbare  
Hilfsschicht seitlich oxidiert werden.

15

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- die oxidierbare Hilfsschicht in ihren oxidierten Bereichen  
entfernt wird, wobei ein Bereich der Halbleiter-  
20 Zwischenschicht freigelegt wird,
- die Halbleiter-Zwischenschicht im freigelegten Bereich bis  
zu einer Tiefe geätzt wird, die der Tiefe des  
herzustellenden Halbleiterreliefs entspricht,
- die Deckschicht und die nicht-oxidierten Bereiche der  
25 oxidierbaren Hilfsschicht entfernt werden, wodurch das  
Halbleiterrelief in der Halbleiter-Zwischenschicht  
freigelegt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,  
30 dass auf dem Halbleiterrelief zumindest eine Spiegelschicht  
angeordnet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Halbleiterrelief zwischen einer oberen  
35 Spiegelschicht und einer Stromapertur des VCSEL-Lasers  
angeordnet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächengröße des Halbleiterreliefs größer als die Flächengröße der Stromapertur ausgebildet wird.

5 11. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Spiegelschicht eine Schicht aus dielektrischem Material verwendet wird.

10 12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Mesa-Struktur und eine Stromapertur hergestellt werden und
- auf der Mesa-Struktur ein oberer elektrischer Kontakt des Lasers angeordnet wird,
- 15 - wobei die Anordnung des oberen elektrischen Kontakts, der Stromapertur sowie des Halbleiterreliefs relativ zueinander selbstjustierend erfolgt.

20 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass als oberer elektrischer Kontakt ein Intra-cavity-Kontakt gebildet wird.

25 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Intra-cavity-Kontakt auf der Halbleiter-Zwischenschicht gebildet wird.

30 15. Vertikal emittierender Laser mit einem Halbleiterrelief zum Abstrahlen unerwünschter Moden, wobei das Halbleiterrelief zwischen einer oberen Spiegelschicht und einer Stromapertur des Lasers angeordnet ist.

16. Laser nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächengröße des Halbleiterreliefs größer als die Flächengröße der Stromapertur ist.

17. Laser nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Spiegelschicht aus dielektrischem Material  
besteht.

- 5 18. Laser nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Laser als oberen elektrischen Kontakt einen Intra-  
cavity-Kontakt aufweist.

10

15

20

## Zusammenfassung

Verfahren zum Herstellen eines vertikal emittierenden Lasers

- 5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem sich VCSEL-Laser mit noch besseren optischen Eigenschaften als bisher herstellen lassen.

10 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Herstellen eines vertikal emittierenden Lasers gelöst, bei dem eine Stromapertur und ein Halbleiterrelief hergestellt werden, wobei die Flächengröße des Halbleiterreliefs und die Flächengröße der Stromapertur in demselben Herstellungsschritt definiert werden.

15

Fig. 8